

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství



Rekonstrukce sypaných přehradních hrází

Reconstruction of Earth Dams

Student

Radim Ježík

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Nad'a Rapantová, CSc.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání bakalářské práce

Student: **Radim Ježík**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: **Rekonstrukce sypaných přehradních hrází**
Reconstruction of Earth Dams
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíle práce
2. Druhy přehradních hrází
3. Poruchy sypaných přehradních hrází
4. Opravy a rekonstrukce sypaných přehradních hrází
6. Příkladová studie - rekonstrukce přehradní hráze vodního díla Koryčany
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

LUKÁČ, Michal a Emília BEDNÁROVÁ. *Navrhovanie a prevádzka vodných stavieb: sypané priehrady a hrádze*. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-8076-031-4.
BROŽA, Vojtěch a Ladislav SATRAPA. *Navrhování přehrad*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000dotisk. ISBN 80-01-01424-X.
ŘÍHA, Jaromír. *Úvod do rizikové analýzy přehrad*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-608-9.
Stability problems of earthfill dams: [dizertačná práca z vedného odboru teória a konštrukcie inžinierskych stavieb]. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2004. ISBN 80-227-2045-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Nad'a Rapantová, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2018
Datum odevzdání: 06.05.2019

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit a odhalit důvody vzniku poruch sypaných hrází, které se vyskytují v praxi. Práce se zabývá výstavbou sypaných přehradních hrází od průzkumu až po samotný provoz. Jsou uvedeny typy přehradních těles dle použitého zemního materiálu, popsány některé typy poruch a jejich sanace.

Praktická část se věnuje popisu Vodního díla Koryčany. Práce se zabývá jeho výstavbou, geologickými podmínkami, proběhlými sanacemi a popisem jednotlivých částí. V současné době prochází vodní dílo rekonstrukcí. V práci jsou dokumentovány opravy těsnící části na koruně hráze a v podloží. Sanace podloží se provádí injektáží jílocementovou směsí z komunikační chodby. Sanace koruny hráze je řešena jílocementovou zálivkou s vloženou fólií.

Klíčová slova

porucha, vodní dílo, stabilita svahů, injektáže, zemní hráz

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to evaluate and reveal the reasons for the occurrence of earth dams failure in practice. The work deals with the construction of earth dams from exploration to the actual operation. Types of dams according to the used earth material are listed, some types of failures and their remediation are described.

The practical part is devoted to the description of the Waterworks Koryčany. It describes its construction, geological conditions, the remediation and description of individual parts. Currently, water works are undergoing reconstruction. The bachelor thesis describes the repair of sealing parts on the crown and in the subsoil. Subsoil remediation is carried out by grouting the clay-cement mix from the communication corridor. Remediation of the dam crown is solved by clay-cement mixture with inserted foil.

Key words

failure, water work, slope stability, grouting, earth dam

Obsah

1	Úvod a cíle práce.....	9
2	Přehradní hráze	10
2.1	Historie	10
2.2	Typy přehradních těles	10
2.3	Typy zemních sypaných hrází.....	11
3	Etapy výstavby sypaných hrází.....	14
3.1	Průzkum podloží	14
3.2	Založení hráze	14
3.3	Sypání hrází a hutnění	15
4	Materiály použité na stavbu sypaných hrází	15
4.1	Těsnění z umělých materiálů.....	15
4.2	Těsnění pomocí betonu	15
4.3	Těsnění zemní	16
4.4	Základní provozní objekty	17
5	Poruchy sypaných přehradních hrází	17
5.1	Typy poruch	18
5.1.1	Přelití koruny hráze	18
5.1.2	Erozivní účinky	19
5.1.3	Prosakování vody	20
5.1.4	Svahové pohyby	20
6	Opravy a rekonstrukce sypaných přehradních hrází	21
6.1	Ochrana před erozivními účinky vody	22
6.2	Ochrana vůči prosakování hráze	23
7	Příkladová studie Rekonstrukce VD Koryčany	26
7.1	Historie	26
7.2	Základní údaje, účel a využití	26

7.3	Geologické poměry v přehradním profilu	27
7.4	Odvodnění hráze a jejího okolí	28
7.5	Popis jednotlivých částí	29
7.5.1	Vzdouvací objekt (hráz)	29
7.5.2	Spodní výpušť	29
7.5.3	Odkalovací potrubí ve výpustné věži	30
7.5.4	Odběrná, výpustná věž	30
7.5.5	Vodárenské odběry	30
7.5.6	Odběr pro rybochovné hospodářství	30
7.5.7	Komunikační a odpadní chodba	30
7.5.8	Revizní a injekční chodba	31
7.5.9	Bezpečnostní přeliv	31
7.5.10	Skluz	31
7.5.11	Vývar	31
7.5.12	Regulace pod hrází	31
7.6	Seznam jednotlivých oprav	31
7.6.1	Koruna hráze	32
7.6.2	Bezpečnostní přeliv, skluz, vývar, mostní objekty	33
7.6.3	Injekční clona	33
7.6.4	Spodní výpušť č. 2	38
7.6.5	Automatický monitoring	39
8	ZÁVĚR	40
9	Použitá literatura	42

Seznam obrázků

Obrázek 1 Srubová hráz na plavení dříví [5] -----	11
Obrázek 2 Schéma Homogenní hráze na nepropustném podloží [4]-----	12
Obrázek 3 Příklady patního drénu [4] -----	12
Obrázek 4 Příklad zonální hráze se středovým těsněním [5]-----	13
Obrázek 5 přelití koruny hráze [7] -----	19
Obrázek 6 Opevnění návodní strany hráze - kamenná dlažba do betonu (foto autora) -	21
Obrázek 7 Instalace geobuňky Multicell [9]-----	23
Obrázek 8 Letecký pohled VD Koryčany (foto Povodí Moravy) -----	26
Obrázek 9 Vzorový řez hrází [12]-----	28
Obrázek 10 osazení plastové fólie (foto autora) -----	32
Obrázek 11 Bezpečnostní přeliv před rekonstrukcí (foto autora) -----	33
Obrázek 12 Bezpečnostní přeliv po dokončení bet. konstrukcí (foto autora)-----	33
Obrázek 13 Mechanický pakr s manometrem (foto autora)-----	36
Obrázek 14 Míchací centrum (foto autora) -----	37
Obrázek 15 vrtná souprava (foto autora)-----	37
Obrázek 16 Vzorky podloží z vrtu 72A (foto autora) -----	38
Obrázek 17 Vrtná hlava vlevo na jádro vpravo plnoprofilová (foto autora) -----	38
Obrázek 18 nově osazená potrubí v obslužné věži (foto autora) -----	39
Obrázek 19 potápěčské práce při osazení nátokového zvonu (foto autora)-----	39
Obrázek 20 Původní tlakoměrné vrty s manometrem (foto autora)-----	40
Obrázek 21 Vrt osazený automatickým snímačem + manometr (foto autora) -----	40

Seznam Tabulek

[1] Zeminy na Malé vodní nádrže MVN ČSN 75 24 10

1 Úvod a cíle práce

Motivací pro volbu tématu bakalářské práce „Rekonstrukce sypaných přehradních hrází“ bylo, že se v praxi realizací těchto staveb zabývám. Jde o protipovodňové hráze, hráze suchých nádrží a nádrží se stálým nadržáním vody. Přehradní hráze z hlediska potřeb lidí mají hned několik funkcí. Jedná se o cílené zadržení vody, které může být z důvodu vytváření zásoby pitné vody, ochrana před povodněmi, rekreační služby, chov ryb, zásoba vody pro případ požáru, výroba elektrické energie atd. Na základě velikosti a hlavní funkce přehrady je nastavena ochrana, monitorování a údržba každé sypané hráze. Pro stavby jsou všechny fáze velmi důležité od průzkumu, přes projekt, realizaci až po samotný provoz. V každé fázi výstavby se mohou vyskytnout defekty, které se (v ideálním případě) odstraní ihned, abychom předešli následným nákladným opravám.

Cílem bakalářské práce je popsat hlavní příčiny poruch sypaných hrází a přístupy k jejich rekonstrukci. Tyto poruchy můžou narušit přehradní hráz nebo katastrofálně zničit. Pro správný návrh sanace je důležité poznání historie výstavby přehradních hrází. Příčiny poruch jsou založeny v různých etapách, od prvotního průzkumu až po dokončení díla.

V druhé části bakalářské práce se zabývám příkladovou studií vodního díla (dále jen VD) Koryčany. Toto vodní dílo za dobu, co plní svou funkci, muselo být několikrát sanováno. Nyní probíhající rekonstrukce nahrazuje celou řadu objektů a obnovuje vodotěsnost hráze. Popisuji všechny sanace objektů a podrobně se zajímám o injektáže v úpatní štolě. Při realizaci injektážních vrtů došlo k doplnění injektází v nejvíce narušených úsecích podloží.

2 Přehradní hráze

2.1 Historie

Funkcí přehradních hrází, jak vyplývá ze samotného názvu, je „přehradit“ určité území za požadovaným účelem. Využit vodní zdroj pro své potřeby se dařilo lidem už v dávné minulosti. Nejstarší dochované těleso hráze je v Egyptě jižně od Káhiry datované 3000 let před n. l. [1] Nejdříve byly vodní toky přehrazeny pro účely zavlažování, nebo naopak jako ochrana před vodním živlem. I sypané zemní hráze mohou vyrůst do úctyhodných rozměrů. Nejvyšší zemní kamenitá hráz světa je Nurek – Tádžikistán – výška 304 m [2].

Jako počátek budování nádrží a přehrad můžeme brát v České republice výstavbu rybníků. Ty se hojně budovaly od 12. do 17. století. Tomuto období se taky říká „zlatý věk“ českého rybníkářství. Tehdy u nás vzniklo až 75 000 rybníků (3x více než dnes). Z těchto je možno uvést nejstarší umělou nádrž Máchovo jezero (1272, Karel IV) [1]. Jako uměle sypaná nádrž na pitnou vodu se u nás nachází nádrž Jordán v Táboře z roku 1492 s hrází 20 m vysokou [1]. Nejvýznamnějším obdobím budování vodních nádrží s protipovodňovým účinkem je konec 19. a začátek 20. století; šlo zejména o stavby hrází zděných z lomového kamene, posléze i zemních a betonových. Podstatná část přehrad se stálým nadržením vody byla vybudována ve 2. polovině 20. století. Jako první betonová přehrada byla v ČR vybudována přehrada Vranov nad Dyjí 1933 a jako poslední Orlík 1965. Z hlediska kulturního dědictví má Orlík velkou estetickou hodnotu v čistotě linií mohutného tělesa hráze respektujícího zákony gravitace. Za pozornost stojí podzemní prostory vodní nádrže Lipno. Jde o mimořádný inženýrsko-stavební výkon. Hydrocentrála je vysekaná v žulovém masivu 200 m pod povrchem a rozměry kaverny jsou srovnatelné s hlavní lodí Svatovítského chrámu na Pražském hradě. U sypaných hrází se Česká republika může pyšnit nejdelší sypanou hrází VD Nechanice s délkou koruny hráze 3280 m [3]. Na první pohled se tvarově starší hráze velmi nelišily od dnešních staveb. Stavitelé (v příčném řezu hráze) od 19. století z tvaru obdélníku přešli na tvar trojúhelníku (lichoběžníku), který přirozeně vzdoruje hydrostatickému tlaku.

2.2 Typy přehradních těles

U přehradních hrází existuje několik druhů dělení, například podle funkce, podle statického působení, podle tvaru, podle způsobu přivádění vody atd. Úvodem prezentuji rozdělení dle materiálu hráze, v další části jsem se věnoval jen zemním sypaným hrázím.

Rozdělení dle materiálu
přehradního tělesa [4]

1. Betonové
2. Zděné
3. Dřevěné a ocelové (Obr. 1)
4. Kombinované

Výhody: snadné začlenění přelivů, spodních výpustí a odběrných objektů do přehradního tělesa, umožňují využívat rozestavěné přehradní těleso pro usnadnění převádění vody ze stavby, bezpečnější proti přelití.



Obrázek 1 Srubová hráz na plavení dříví [5]

5. Z místních materiálů

- Zemní
- Kamenité
- Smíšené

Výhody: schopnost přizpůsobit se i značně nevýhodným základovým podmínkám, možnost využít pro sypaní zeminy a horniny, které jsou k dispozici v blízkosti přehradního místa, možnost mechanizovat jejich těžení, dopravu a hutnění.

Sypané hráze patří mezi nejjednodušší typ vodních děl. Z hlediska četnosti se v ČR vyskytují v největším měřítku. Ve většině případů se jedná právě o hráze malých vodních děl, jako jsou rybníky, meliorační nádrže apod. Výstavba sypaných hrází sahá nejčastěji do 60. až 90. let 20. století, proto u nich dnes často dochází k průsakům a ztrátám stability. Nejvíce to bylo patrné v letech 1997 a 2002, kdy na našem území proběhly katastrofické povodně.

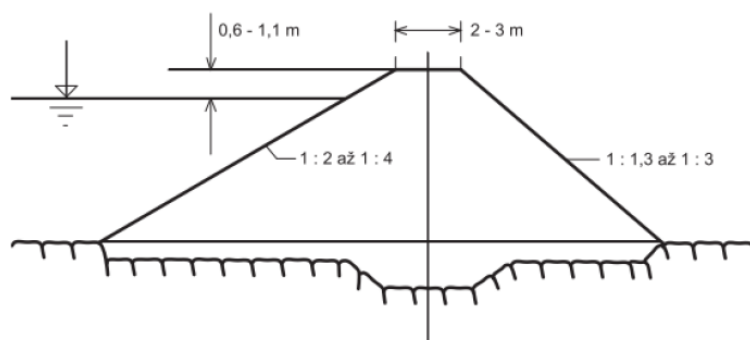
2.3 Typy zemních sypaných hrází

Zemní sypané hráze se podle počtu typů použitých zemin na stavbu dělí na homogenní a heterogenní. Jde o základní rozdělení, které se může kombinovat s dalšími prvky, například drenáže, filtry, těsnící clony.

Rozdělení dle použitého materiálu [4]

1. Homogenní zemní přehrady

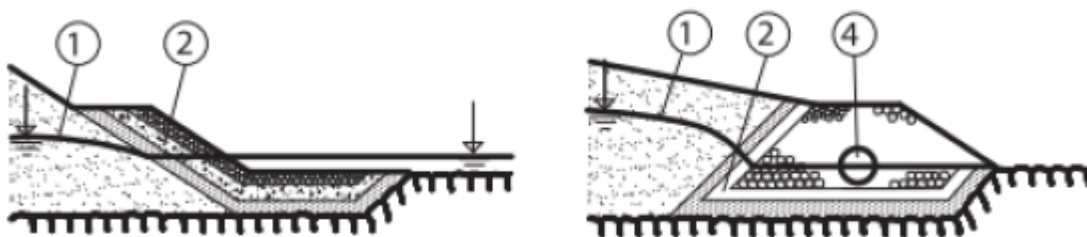
Jedná se o druh přehrad konstruovaný v podstatě z jednoho typu zeminy (Obr. 2). Hlavním stavebním materiálem jsou převážně soudržné zeminy s koeficientem hydraulické vodivosti $K=10^{-7}$ m/s nebo méně. Takové zeminy nemají velkou smykovou pevnost, takže vnější svahy jsou v rozsahu 1:2,5 – 1:5. Tím pádem je z praktických důvodů omezena jejich výška. Jedná se nejčastěji o ochranné protipovodňové hráze.



Obrázek 2 Schéma Homogenní hráze na nepropustném podloží [4]

2. Homogenní zemní přehrady s drénem

Materiály jsou podobné homogenním přehradám, doplněné jsou o drenážní (většinou šterkové) vrstvy. V tomto případě se může vyskytnout nekontrolovaný průsak. Tyto drenážní vrstvy byly nainstalovány na starších homogenních hrázích ve snaze omezit povrchovou erozi. Doporučeno je používat jen na nízké přehrady s menším rizikem (protipovodňové hráze). Funkcí drénů je bezpečné odvedení průsakové vody z tělesa hráze. Drény svým tvarem a uložením v tělese hráze mohou být horizontální, vertikální případně kombinované (Obr. 3, popis odkazů č. 1 depresní křivka, č. 2 ochranný filtr, č. 4 drenážní potrubí v patce).

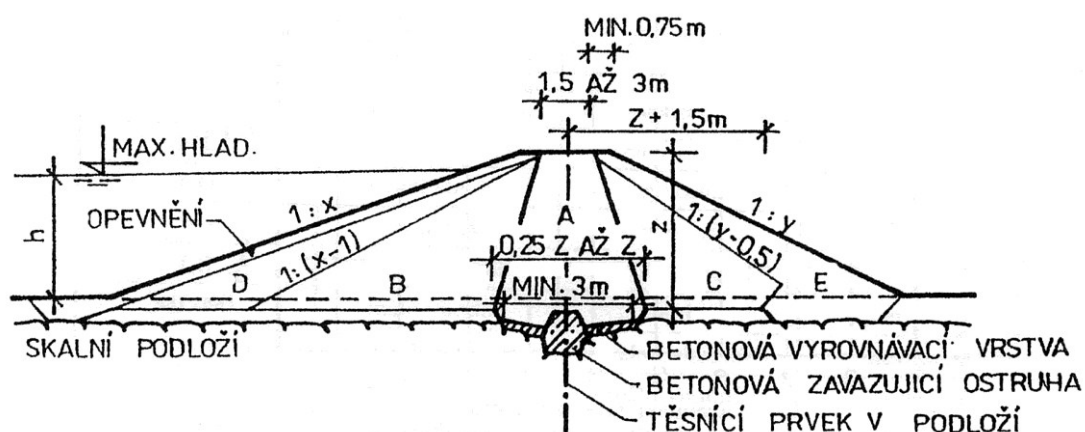


Obrázek 3 Příklady patního drénu [4]

3. Nehomogenní (heterogenní, zonální) zemní přehrady

Jedná se o hráz skládající se z více než jednoho druhu zeminy. Těsnicí část zaručující nepropustnost se může nacházet v centrální části, nebo na návodní části, případně

v kombinacích těchto dvou. Většinou je z jílu, jílovitého písku, písčité hlíny (podrobněji v kapitole 4.4). Druhá zóna hráze je stabilizační (Obr. 4.) Zeminy ve stabilizační části mají vyšší koeficient hydraulické vodivosti, ale zároveň vyšší pevnost ve smyku. To umožňuje navrhovat strmější svahy a zmenšení objemu hráze proti homogenním hrázím. Mezi těsnící a stabilizační částí hráze se budují filtry. Jsou to přechodové zóny, které brání nepřípustnému vyplavování jemných částic do hrubšího materiálu nebo drénu.



Obrázek 4 Příklad zonální hráze se středovým těsněním [5]

3 Etapy výstavby sypaných hrází

Při návrhu přehradní hráze se vychází z variant typů přehrad, reálných v daných morfologických, geologických a jiných podmínkách s uvážením funkce díla, specifických objektů popř. dalších skutečností.[6] Nepodcenit žádnou fázi výstavby se v konečné fázi vyplatí snížením nároků na následné opravy a sanace sypaných hrází.

3.1 Průzkum podloží

Pro návrh hráze je velmi důležitý pečlivý průzkum podloží, zvláště u nepravidelné morfologie podloží, například původní trasy meandrujícího toku, a obecně ve složitých geologických podmínkách. Podkladem pro průzkum základových poměrů je znalost geologických poměrů území. Na tomto základě se určí místa s jednotnými poměry v podloží a také vhodná metoda pro další průzkum.

K průzkumu se využívají invazivní metody, jako jsou vrty, sondy a terénní geotechnické zkoušky. V budoucí trase hráze jsou provedeny vrty s odběrem zeminy a hlavní vrty sahající až na dostatečně únosné podloží, které jsou důležité nejen pro odběr vzorků i v hlubších polohách, ale rovněž pro zjištění úrovně hladiny podzemní vody a jejího kolísání. V případě potřeby a na problematických místech se provádí další zkoušky, například kopané sondy, čerpací pokusy a jiné. Pro průzkum podloží lze také využít tzv. neinvazivní metody, například metody geofyzikální. Tyto metody nenaruší podloží a jejich realizace je rychlejší. Naproti tomu je nižší jejich citlivost, přesnost a spolehlivost. Příkladem neinvazivních metod jsou měření georadarem (ground penetrating radar GPR), elektrická odporová tomografie, seismické akustické metody atd.

3.2 Založení hráze

Zakládání je souhrn stavebních prací v údolní nivě a na svazích pod hrází, kde se vytvářejí podmínky pro spolupůsobení tělesa hráze [7]. Způsob založení hráze se mění v závislosti na druhu podloží. Hráz je založena na skalním podloží nebo na soudržných, popřípadě nesoudržných zeminách. Na podloží z nesoudržných zemin lze budovat pouze heterogenní hráze. Ochranné hráze se zakládají na únosné podloží po odstranění vegetace a humózní vrstvy. Pokud se v podloží nachází neúnosné zeminy s vysokým obsahem organických látek, je třeba je odtěžit.

Prosakování vody z nádrže podložím se zabráňuje nejčastěji injekční clonou, navazující na těsnící prvek hráze (více v kapitole 7.6.3).

3.3 Sypání hrází a hutnění

U homogenních hrází jsou jednoduché podmínky pro postup sypání. Volba postupu sypání je ovlivněna většinou pouze ohledy na potřeby zakládání objektu. U hrází se středním těsněním je všechno ovlivněno postupem sypání těsnicí části, na které má velký vliv počasí a je ztíženo v zimním období. Zvláště nepříznivé je (ve všech fázích postupu sypání) odvodnění pracovních ploch. Nejlépe je plochy svahovat mimo těsnicí část.

Hráze jsou nasypány z různých typů materiálů o velké rozdílnosti mechanických vlastností. Nelze stanovit jednoduchá obecná pravidla pro volbu vhodného způsobu hutnění. Nicméně je velmi důležité učinit pokusy pojezdem válce a stanovit vhodný způsob hutnění různých typů zeminy. Hutněním klesá pórovitost, jednotlivé částice se navzájem posunují a dochází ke zvětšení kontaktních ploch. Zvyšují se základní geomechanické parametry jako smyková pevnost, zmenší se stlačitelnost, zvýší se únosnost a sníží propustnost [7].

Filtry a drenážní vrstvy slouží pro odvedení vody mimo těleso hráze bez nežádoucích vlivů na stabilitu hráze. Zvláště tyto vrstvy musí být dobře uloženy pro splnění svých funkcí.

4 Materiály použité na stavbu sypaných hrází

Složení sypaných přehradních hrází z těsnicí a stabilizační části se řídí požadavky na mechanické vlastnosti materiálu. Materiál použitý na těsnicí část musí bránit pronikání vody hrází. Použitá zemina musí mít nízký koeficient hydraulické vodivosti. Těsnění hrází se provádí z jílu, zdiva, hlíny, betonu, železobetonu, asfaltu, oceli nebo plastických hmot. Zemina do stabilizační části musí být objemově stálá, odolná vůči klimatickým změnám, bez organických látek (tab. 1).

4.1 Těsnění z umělých materiálů

Těsnění z umělých materiálů se začalo rozvíjet přibližně před 40 lety. Fólie se aplikují ve formě návodního, nebo vnitřního těsnění. Prováděcí technologie je jednoduchá a rychlá, ale je nutno zajistit ochranu fólie před mechanickým poškozením (Obr. 5). Použití tohoto druhu těsnění je doporučeno pro hráze s výškou menší než 40 m.

4.2 Těsnění pomocí betonu

Betonové a železobetonové těsnění se zřizuje jako deska položená na návodní svah, nebo stěna uprostřed hráze. Typ uložení uprostřed hráze způsobil na mnoha přehradách vážné problémy. Střední betonové těsnění je velmi citlivé na deformace tělesa hráze a není možné

toto těsnění opravit. Tloušťka návodního těsnění je navrhována minimálně 0,3 m v koruně hráze. S hloubkou se tloušťka těsnění zvětšuje. Deska je rozdělena dilatačními spárami.

4.3 Těsnění zemní

Nejčastějším materiálem je jíl, nebo hlína s nízkým koeficientem hydraulické vodivosti. V Tab. 1 je znázorněna vhodnost zemin do konkrétních zón pro budování sypaných hrází. Těsnící jádro se zapustí až do nepropustného podloží hráze, pokud je ve snadno dosažitelné hloubce.

Tabulka 1 Vhodnost zemních materiálů do jednotlivých zón sypaných hrází [1]

znak skupiny	Název zeminy	Homogenní	Těsnící část	Stabilizační část
GW	štěrk dobře zrněný	nevhodná	nevhodná	výborná
GP	štěrk špatně zrněný	nevhodná	nevhodná	výborná
G-F	štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy	málo vhodná	nevhodná	velmi vhodná
GM	štěrk hlinitý	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
GC	štěrk jílovitý	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
SW	písek dobře zrněný	nevhodná	nevhodná	vhodná
SP	písek špatně zrněný	nevhodná	nevhodná	vhodná
S-F	písek s příměsí jemnozrnné zeminy	nevhodná	nevhodná	vhodná
SM	písek hlinitý	vhodná	vhodná	málo vhodná
SC	písek jílovitý	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MG	hlína štěrkovitá	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
CG	jíl štěrkovitý	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MS	hlína písčitá	vhodná	výborná	nevhodná
CS	jíl písčitý	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
ML-MI	hlína s nízkou až střední plasticitou	málo vhodná	vhodná	nevhodná
CL-CI	jíl s nízkou až střední plasticitou	vhodná	velmi vhodná	nevhodná
MH-ME	hlína s vysokou až extrémně vysokou plasticitou	málo vhodná	nevhodná	nevhodná
CH-CE	jíl s vysokou až extrémně vysokou plasticitou	málo vhodná	nevhodná	nevhodná

Jílové těsnění je nutno chránit před vysycháním a před promrznutím dostatečně mocnou vrstvou zemního materiálu. Výhoda jílového těsnění – snadno se přizpůsobuje deformacím a neporušuje se sedáním hráze. Nevýhoda jílového těsnění – lze je budovat jen za příznivých povětrnostních podmínek.

4.4 Základní provozní objekty

V této podkapitole jsou stručně uvedeny nejpoužívanější objekty sypaných hrází. Tyto objekty zabezpečují funkci sypané hráze, regulovatelnost vody v nádrži, bezpečné převedení vody za hráz, omezení vlivu kolísání hladiny na stabilitu svahů, přístup k objektům atd. U rybníků se taky používá pro regulaci výšky vody „Požerák“. Monitorovací systémy slouží k sledování přehradní hráze a k identifikaci změn. Do tohoto sledování patří výšky hladiny podzemních vod, pórové tlaky v podloží, pohyby hráze a okolí.

Seznam nejpoužívanějších objektů na hrázích se stálým zadržením vody:

- bezpečnostní přeliv, skluz, vývar, odtokové koryto,
- opevnění svahů (návodní a vzdušná část),
- koruna hráze (případně vlnolam),
- odběrné místo vody, výustní objekt,
- obslužná a injektážní štola,
- monitorovací systém hráze.

5 Poruchy sypaných přehradních hrází

Abychom mohli poruchy odhalit a následně sanovat, je potřebné znát složení přehradního tělesa. Každá hráz je originální dílo s různorodým složením zeminy a kameniva. Poslední protržená hráz v ČR byla na Bílé Desné. K protržení došlo 18. 9. 1916 [9]. Od kolaudace do protržení uběhlo jen 10 měsíců. Na toto téma byla vypracována řada posudků a vydáno několik publikací [9]. Jako příčiny kolapsu se nejčastěji uvádí velké sedání hráze, nerovnoměrné sedání v důsledku tektonického zlomu v podélném profilu hráze, prosakování tělesem hráze podél štoly, nevhodná zemina použitá při výstavbě, nedostatečné hutnění vrstev až 40 cm válcem o hmotnosti jen 3 tuny. Takže se dá říci, že jde o chyby od průzkumu, přes projekci až po realizaci.

Příčiny selhání hráze mohou být přirozené nebo umělé, způsobené člověkem. Přirozenými příčinami jsou extrémní povodně, zemětřesení, půdní sesuv, eroze, prosakování, přelití, ledochod nebo působení různých živočichů a vegetace. Umělé příčiny jsou např. špatný návrh konstrukce, nevhodné umístění, chyby během výstavby, pojíždění vozidly, nedostatečná údržba nebo sabotáž. V mnoha případech se jedná o kombinaci několika příčin.

Cílem návrhu, realizace a provozování je vypořádat se s uvedenými faktory na úrovni současného poznání a snížit nebezpečí porušení vodních děl na obecně přijatelnou míru. Přitom je prioritní omezit škody na majetku a životech obyvatel v chráněném území.

5.1 Typy poruch

Voda je hlavním faktorem takřka všech poruch sypaných hrází. Níže uvedené příklady poruch jsou jen neúplným výčtem možností porušení. Vzniku poruch nelze zcela zabránit. Je však možné jim důsledným dodržením standardních postupů v projektové části nebo realizační části předcházet.

5.1.1 Přelití koruny hráze

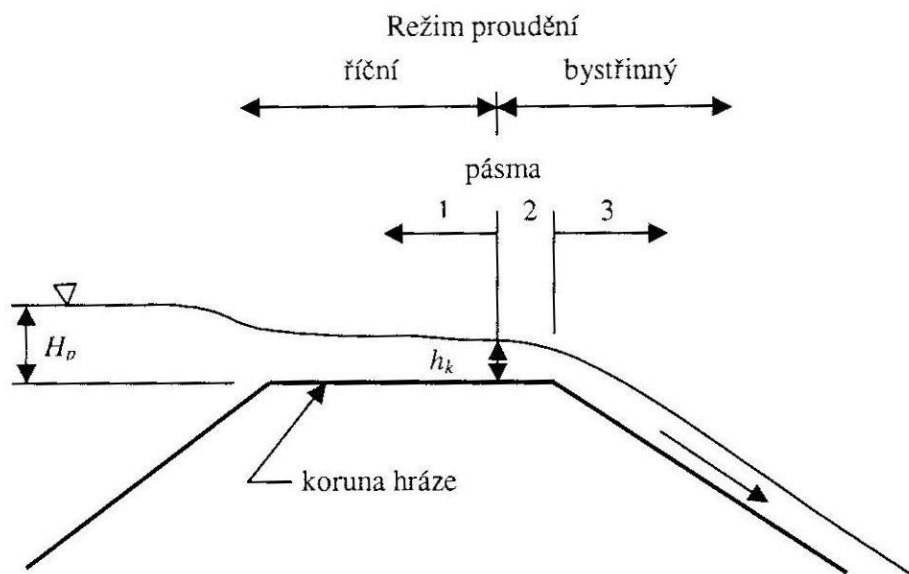
Tento typ poruch se nejčastěji objevuje u protipovodňových hrází, ale není výjimkou u malých vodních nádrží s nedostatečným bezpečnostním přelivem. Při přelití těleso hráze zprvu odolává účinku proudu přepadající vody, jejíž rychlost je funkcí průtočného množství vztaženého na jednotku délky koruny hráze, dále funkcí sklonu vzdušného líce hráze, materiálu (popř. typu vegetace). Při překročení kritického smykového napětí, resp. nevymílací rychlosti materiálu vzdušného líce hráze, dojde v důsledku místní eroze a následné koncentrace proudu k postupnému vytváření zářezu. Průběh porušení závisí významně na tvaru hráze, skladbě konstrukčních materiálů hráze a uspořádání těsnících prvků.

Při přelévání koruny hráze na počátku porušení, kdy se obvykle ještě neprojeví vliv dolní vody, lze z hydraulického hlediska předpokládat tři erozní zóny (Obr. 7):

1. zóna se nachází v oblasti říčního proudění nad korunou hráze. Režim proudění je vždy třeba ověřit s ohledem na uspořádání koruny hráze při vzdušní hraně koruny, příčný sklon koruny hráze a případnou vegetaci při její vzdušní hraně;

2. zóna vystihuje kritický režim proudění v místě přechodu koruny do vzdušného líce hráze,

3. zóna leží v oblasti bystrinného proudění na vzdušném líci hráze.



Obrázek 5 přelítí koruny hráze [7]

Pokles koruny hráze může být způsoben také poddolováním území, nevhodnými základovými poměry nebo špatným provedením (zhutněním) tělesa hráze.

5.1.2 Erozivní účinky

K vnitřní erozi dochází, když materiály tělesa hráze nesplňují geometrické a hydraulické podmínky stability proti vzniku sufoze nebo vzniku privilegovaných průsakových cest. Průsaková cesta se schematizuje „průsakovým kanálem“. Vnitřní eroze je zahájena průsaky, které vyplavují drobné pevné částice a unáší je po proudu. Následně dochází ke vzniku privilegované cesty. Voda prosakuje hrází a vytváří otevřenou cestu pro tok nesoucí částice, což vede k úbytku materiálu a následně ke ztrátě stability. Při vyplavení většího množství materiálu může dojít ke zhroucení stropu průsakového kanálu a k poklesu koruny hráze. To vede k následnému porušení celé hráze.

Povrchová vodní eroze působí na povrch zemních těles a nejčastěji vlivem vodních srážek se odplavuje půda. Nejvíce jsou ohroženy nově vytvořené svahy, na kterých ještě nevyrostla vegetace.

Inženýrské práce byly v minulosti prováděny bez teoretických znalostí vlastností materiálů. Problém byl nedostatek znalostí o tom, jak voda prosakuje skrz zeminu a nedostatečné informace o propustnosti materiálů. Výsledné návrhy byly často neekonomické s nízkou bezpečností proti selhání průsaky. Darcyho základní experimenty s průsakovými jevy vedly k poznání o průsakových procesích skrz homogenní materiál a drenážní systém. K dalšímu vědeckému a experimentálnímu pokroku přispěl Terzaghi. Převedení teorie průsaků

do praxe podle Casagrandeho představovalo významný krok kupředu v navrhování zemních přehrad a hrází.

5.1.3 Prosakování vody

Jde o prosakování vody hrází nebo podloží, charakterizované délkou trasy průsaku a hydraulickým spádem. Omezení těchto průsaků se řeší aplikací nepropustných materiálů. Důležité je monitorování průsaků pro udržení stability hráze (více v kapitole 7.6.3).

5.1.4 Svahové pohyby

Nejen samotná hráz, ale celé zatopené území ovlivňuje stabilitu svahů. Voda při kolísání hladiny má významný vliv na stabilitu svahů. Opevnění návodní strany sypaných hrází se velmi často řeší kamennou dlažbou (Obr. 7), nebo rovinaninou, případně betonovými bloky (panely). Nejpoužívanější metody hodnocení stability svahů soudržných zemin (což je převažující část svahů) jsou tzv. proužkové metody. Jedná se o Pettersonovu metodu (zanedbává vzájemný vliv proužků), Bishopovu metodu (předpokládá vliv proužků, smyková plocha je kruhová), Janbuovu metodu (lze počítat jakýkoli tvar smykové plochy, zavádí vodorovné síly) a další metody.

Svahové pohyby rozdělujeme dle mechanismu a rychlosti pohybu do čtyř skupin[8]:

- **Ploužení** vypadá jako pomalé tečení tuhé látky, je to dlouhodobý a ve většině případů konstantní tedy nezrychlující se pohyb horninových hmot. Mezi pohybující se hmotou a jejím podloží je málo zřetelné rozhraní.
- **Stékání** je charakteristické, na rozdíl od ploužení, rychlým krátkodobým pohybem horniny ve viskózním stavu, kdy podstatná část hmot vyteče z odlučné jámy a přemístí se po povrchu terénu na velkou vzdálenost a vytvoří tak „proud“. Stékající hmoty jsou ostře odděleny od neporušeného podloží.
- **Sesouvání** představuje rychlý, krátkodobý klouzavý pohyb horninových hmot na svahu podél jedné nebo více průběžných smykových ploch, přičemž se část hmot nasune na původní terén v předpolí. Konečnou formou pohybu je „sesuv“.
- **Řícením** nazýváme tím krátkodobý pohyb horninových hmot na strmých svazích, při kterém se uplatňuje volný pád i ostatní druhy pohybu. Zpočátku se horniny mohou přemísťovat po svahu plouzivým či sesuvným pohybem. Následuje samotné řícení, při němž postižené rozvolněné hmoty ztrácejí krátkodobě kontakt s podloží. Po dopadu k patě svahu se většinou ještě uplatňuje stékání nebo sesouvání. Vzdálenost přemístění hmot je vzhledem k prostorovým rozměrům zříceného masivu mnohonásobně větší.



Obrázek 6 Opevnění návodní strany hráze - kamenná dlažba do betonu (foto autora)

Sanace porušených svahů lze podle principu realizace rozdělit do následujících skupin opatření:

- úprava tvaru svahu,
- odvodnění svahu,
- ochrana svahu před zvětráním,
- zpevnění hornin, vyztužení,
- technická stabilizační opatření, opěrné konstrukce,
- zvláštní opatření.

Podle typu svahové deformace se rozhodne o použití sanační metody a jejím rozsahu. Určí se objekt, který je svahovými pohyby ohrožen, a předpoklad zda dochází k pohybu ve skalním nebo zemním masivu.

6 Opravy a rekonstrukce sypaných přehradních hrází

Ochranné sypané hráze jsou většinou budovány z místních materiálů. Zvláště u starších hrází je jejich existence spojena s bezpečnostními riziky. Zpravidla neexistuje dokumentace o geologickém složení podloží, či složení samotné hráze. Mnohé z nich byly v průběhu let navyšovány, opravovány nebo zpevňovány. Ochranné hráze jsou vystaveny vysokému

hydrostatickému zatížení v podobě stálého nadržení vody. Návodní část hráze je více náchylná na splavení zeminy, proto se v očekávaném horizontu kolísání hladiny opevňuje (Obr. 7). Celá stavba je vystavena nepříznivým klimatickým podmínkám, jakými jsou vítr, mráz, déšť a opětovné vysoušení sluncem. Hrozí zde proto reálné riziko porušení stavby a ohrožení majetku nacházejícího se v podhrází.

Jedním z technických opatření eliminujících či snižujících škody je aktivní užívání monitorovací techniky. Její role je v komplexu řešených problémů nezastupitelná. V současné době je na výběr z řady geofyzikálních metod monitoringu. Pro posouzení bezpečnosti konstrukce je nutno dlouhodobě sledovat stav tělesa hráze a jejího podloží, získaná data zaznamenávat a vyhodnocovat.

V této části se nevěnuji opravám a sanacím betonových objektů, které se samozřejmě provádějí, nýbrž opravám a rekonstrukcím poruch hrází, vyvolaných působením vody na zemní část hráze.

6.1 Ochrana před erozivními účinky vody

Aplikovaná opatření se liší podle toho, zda jde o vodní erozi vnitřní nebo povrchovou.

Povrchovou erozi lze eliminovat formou výsevu či výsadby vhodných rostlin společně s instalací geosyntetických protierozních materiálů. Jako další ochrana je umístění kameniva na svahy ve formě dlažby, pohozu, záhozu, případně betonové výrobky určené pro ochranu před erozivními účinky.

Geosyntetické protierozní materiály lze rozdělit podle doby trvání protierozního účinku na dočasné (degradační) a trvalé a z pohledu suroviny pro výrobu geosyntetického protierozního materiálu na přírodní a polymerní. Protierozní řešení, zahrnující geosyntetické materiály, jsou vysoce efektivní, přizpůsobivá měnícím se podmínkám zadání, praxí ověřená, a tím dostatečně ekonomická. Jako příklad trvalé ochrany svahů nádrží jsou geobuňky Multicell (Obr. 7) od firmy Geomat s.r.o.



Obrázek 7 Instalace geobuňky Multicell [9]

Vnitřní eroze je stav zeminy, kdy jsou částice uvnitř tělesa hráze nebo v podloží odnášeny na vzdušnou stranu prouděním prosakující nebo podzemní vodou. Ochranou proti vnitřní erozi se zabývá následující kapitola.

6.2 Ochrana vůči prosakování hráze

Průsaky tělesem hráze a jejím podložím lze omezit vybudováním vhodného těsnícího prvku. Pokud je třeba provést dodatečné těsnění samotného tělesa ochranné hráze, je možné jej provést "klasickým" způsobem spočívajícím v uložení těsnící zeminy na návodní líc hráze, popř. umělého těsnícího pláště přímo na upravený návodní líc, nebo vybudováním svislého těsnícího prvku z koruny hráze. Obnova těsnící clony ze štoly v základové spáře je popsána v příkladové studii VD Koryčany (kapitola 7.6.3.).

Vybudování nového povrchového těsnícího prvku

Jedná-li se o návodní těsnění, je nutné dobře zajistit napojení nového těsnícího prvku na stávající těleso hráze. Provádí se to např. zazubením nebo úpravou sklonu návodního svahu hráze. Plášťová těsnění mohou být tvořena asfalto-betonovým kobercem, betonovou deskou nebo plastovou fólií - geomembránou. Při rychlém poklesu hladiny vody lze očekávat tlak působící na těsnící pláště, proto je třeba prokázat jeho stabilitu. Stabilitu lze zajistit spolehlivým odvedením vody z prostoru pod těsnícím prvkem, dostatečnou hmotností prvku nebo jeho přitížením např. přísypem zeminou. Při patě návodního svahu hráze je třeba zajistit

nápojení těsnicího prvku do podloží. To je možné např. navázáním na podzemní těsnicí stěnu přes betonový blok.

Úprava návodního těsnění plastovou fólií přitíženou vrstvou zeminy s napojením na podzemní těsnicí stěnu

U svislých prvků je třeba zajistit rovněž dobré zavázání do podloží, popř. navázání na těsnicí prvek podloží. Toho lze dosáhnout v případě dostatečně mocné nepropustné při povrchové vrstvy (stropní izolátor) zavázáním těsnicí stěny ozubem hloubky 0,50 až 1,0 m. Pokud je hráz založena na propustných materiálech, je třeba těsnicí stěnu vedenou tělesem hráze prodloužit do podloží. V případě ochranných hrází obvykle nelze připustit přerušení přirozené komunikace vody mezi zvodní a vodním tokem, navrhuji se proto podzemní stěny jako plovoucí - nezavázané do nepropustného podkladu. V tomto případě je třeba posoudit materiál podloží z hlediska jeho filtrační stability.

Vybudování dodatečného svislého těsnicího prvku

Sanace ochranných hrází lze v současné době provést těmito postupy [4]:

- beraněné ocelové (příp. plastové) štětové stěny, které se používají v případě nepřilíš kamenitého materiálu hráze a podloží (výhodné jako prvotní ochrana při protržení u povodňových hrází);
- podzemní stěny, které se dělí na monolitické, pro které se používá označení „milánské stěny“, a prefabrikované:
 - milánské stěny jsou tvořené průběžnou rýhou tloušťky 400 až 1200 mm a hloubku až do cca 40 m. Jejich stavba je plně mechanizována. Používají se speciální stroje, které z úrovně terénu postupně hloubí rýhu paženou výplachem bentonitovou suspenzí, která se následně zabetonuje. Má-li mít milánská stěna nosnou funkci (např. pro zajištění stability hráze), provádí se obvykle jako armovaná;
 - prefabrikované podzemní stěny se provádí ze železobetonových lamel vysoké kvality, které lze využít a zabetonovat v dílenských podmínkách. Lamely mohou být tloušťky cca 0,40 až 0,50 m a šířky cca 2 m. Spáry mezi lamelami se těsní, dílce jsou osazovány postupně do rýhy pažené samotuhnoucí suspenzí;

- podzemní stěny těsnící – předchozí typy podzemních stěn nezajišťují plnou vodotěsnost v důsledku možných průsaku ve spoji mezi jednotlivými lamelami. Pro zajištění požadované těsnosti v celé ploše se provádějí podzemní stěny, které se nazývají těsnící. Oproti předchozím dvěma stěnám se používá do rýhy samotuhnoucí těsnící suspenze, která se používá již během hloubení;
- pilotové stěny, které se s ohledem na své značné rozměry používají pro dodatečné těsnění hrází a jejich podloží pouze výjimečně. Používají se např. v případech, kdy mají současně statickou funkci. Zřizují se z jednotlivých pilot o průměru 0,6 až 1,0 m, kdy se otvory paží pomocí ocelové výpažnice (při průměrech nad 1,5 m se jednotlivé piloty hloubí pod ochranou bentonitové suspenze). Po uložení výztuže se zdola postupně betonuje a zároveň odčerpává bentonitová směs. Pro zajištění těsnícího účinku se musí jednotlivé piloty ve stěně vzájemně přesahovat, tzv. převrtávaná pilotová stěna;
- trysková injektáž, která spočívá ve vytvoření pilířů vzniklých tryskáním směsí vhodných vlastností do předvrtané zeminy pod tlakem 35–50 MPa. Pro zajištění těsnícího účinku se musí jednotlivé pilíře vytvořené tryskovou injektáží vzájemně dostatečně přesahovat. Sloupy mohou být vyztuženy ocelovými trubkami, které se do nich zavibrují;
- metoda využívající současného frézování (vrtání), promíchávání a injektování zeminy na utěsnění a zpevnění tělesa hráze a jejího podloží. Tato metoda je obdobně jako metoda tryskové injektáže založená na promíchání původního materiálu se suspenzí vhodného složení (např. jílocementovou). Na rozdíl od tryskové injektáže zde dochází k rozrušení zeminy pomocí frézy či vrtného míchacího zařízení. Takto rozrušená zemina je postupně při nízkých tlacích promíchávána se suspenzí. Promíchávání zeminy se suspenzí se provádí např. speciálně upraveným korečkovým rypadlem, které zajišťuje promíchání injektované suspenze s původní zeminou.

7 Příkladová studie Rekonstrukce VD Koryčany

7.1 Historie

Výstavba VD Koryčany probíhala mezi roky 1953 - 1958. Hráz je sypaná zemní se středním jílovitým těsněním, se stabilizačními částmi ze štěrkopísků, přičemž paty obou svahů jsou ze štěrko-kamenitého materiálu. Po prvním zkušebním napouštění přehrady v letech 1958 - 1959 byly pozorovány značné průsaky jak skalním, tak i štěrkopískovým podložím hráze, spojené se značnými vztlaky pod vzdušní stabilizační částí hráze a v podhrází. To vedlo k rozsáhlým sanačním pracím, kde průsaky i vztlaky značně poklesly. Sanační práce spočívaly v doplnění původní injekční clony v pravobřežním závázání hráze a ve vybudování levobřežního „patního“ drénu spolu s 5 drenážními studnami. Proto bylo VD uvedeno do trvalého provozu až v r. 1963. Zvýšená úroveň vztlaků pod hrází při patě pravého svahu byla v r. 1968 a 1988 sanována novými 4 drenážními studnami. V r. 1998 byla na levobřežním drénu objevena porucha, jež vedla mezi roky 1999 - 2001 k výměně potrubí drénu a filtračních obsypů v celé jeho délce. Z důvodu dlouhodobého nárůstu vztlaků zejména pod vzdušní polovinou hráze bylo současně přikročeno k vybudování 6 nových drenážních studní při tomto drénu v celé údolní nivě. V současné době prochází VD Koryčany rekonstrukcí, která začala v roce 2017.

Situování hráze VD Koryčany

Hráz vodního díla je umístěna na toku Kyjovce v říčním km 74,500 nad městem Koryčany ve Zlínském kraji [10]. Z hlediska regionálního leží ve vrchovině Chřiby (nadřazený celek: Středomoravské Karpaty).

7.2 Základní údaje, účel a využití

Název toku Kyjovka, kilometráž v místě hráze 74,500 km, číslo hydrologického pořadí 4 - 17 - 01 – 068, plocha povodí 27,31 km²

- dlouhodobý průměrný roční průtok (1931-1980): 0,134 m³.s⁻¹

- průměrný roční úhrn srážek (1931-



Obrázek 8 Letecký pohled VD Koryčany (foto Povodí Moravy)

1980): 692 mm

a) Zajištění akumulace vody pro:

· odběr surové vody pro úpravnu skupinového vodovodu Kyjov (ve správě Vodovodů a kanalizací Hodonín a.s.) v množství průměrně 45 l.s^{-1} , maximálně 50 l.s^{-1} , maximálně 130 tis. m^3 / měsíc, maximálně $1,45 \text{ mil.m}^3$ / rok,

· trvalý minimální průtok MQ v toku pod VD v množství $MQ = Q_{355d} = 0,013 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$,

$MQ_{\text{sníž.}} = 0,010 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ v závislosti na hladině v nádrži,

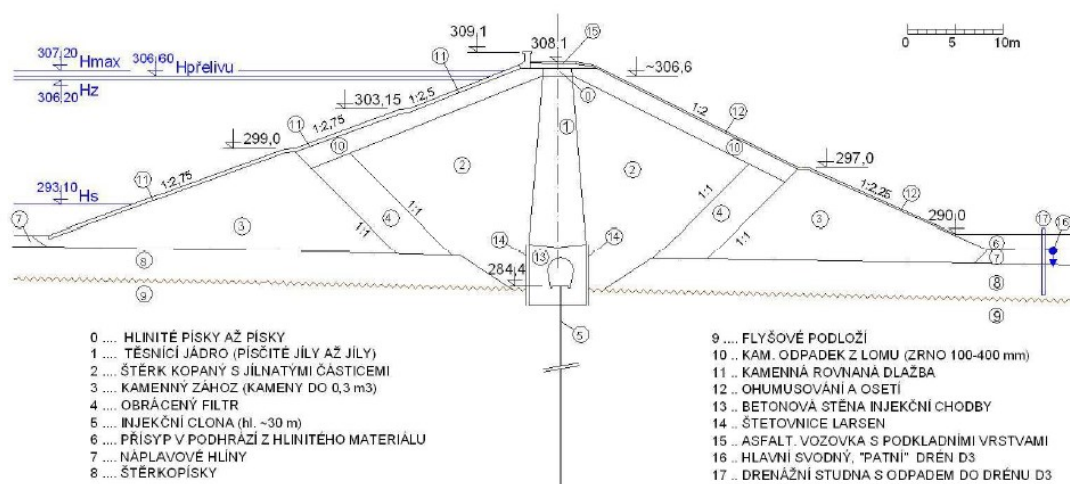
b) Zachycení velkých vod a snížení kulminačních povodňových průtoků

7.3 Geologické poměry v přehradním profilu

Geologické podloží

Hráz je založena na flyšovém podloží - na paleogenním šedém pískovci, jemně až středně zrnitém s vápenitým a křemitým tmelem. V horních partiích (3 m v údolní části a asi 8 m ve svazích) je pískovec silně rozpukán a zbarven až tmavě hnědě. Pískovec přechází místy do jemně až středně zrnitých slepenců s vložkami jílovců, jež jsou tmavě šedé, slídnaté, místy velmi silně písčité. Mocnost těchto vrstev se pohybuje od několika cm do 3 m. Směr a úklon těchto vrstevních ploch je velmi nepříznivý - osa hráze je kolmá na osu antiklinály, jejíž křídla upadají pod úhlem $70-75^\circ$.

Území bylo postiženo zlomovými poruchami, podél kterých došlo k relativním pohybům. Na pravém svahu byly vysledovány tři výrazné poruchové linie, v údolní části dvě a při patě levého svahu jedna. Předpokládá se vyvinutá síť tlakových a tahových trhlin v plochách rovnoběžných s osou antiklinály jako důsledek orogenetických pochodů. Navětrání dle puklinových ploch bylo možné sledovat až do 30-35 m, v místech silného tektonického porušení pak navětrání sahá až do 45-50 m. Většina puklin je bez výplně. V údolní nivě je nad skalním podložím vrstva zahliněných štěrků průměrné mocnosti asi 3 m a dále asi 4 m mocná vrstva náplavové písčité hlíny. V údolních svazích vrstvy přecházejí do vrstvy hlinitých sutí o mocnosti 7 m v patě a asi 3 m v horní části svahu.



Obrázek 9 Vzorový řez hrází [12]

7.4 Odvodnění hráze a jejího okolí

Štěrkovou vrstvou pod tělesem hráze i v podhráží se realizuje hlavní část průsaků. Tato vrstva jednak přímo odvodňuje vlastní těleso hráze, ale i vlastní skalní podloží. Dále je štěrková vrstva v podloží v podhráží dotována svahovou vodou z levého závázání hráze. V levobřežní části údolní nivy se drenážní systém skládá z hlavního svodného drénu D3 (umístěný převážně rovnoběžně s patou hráze ve vzdálenosti cca 8 m, v hloubce 1,2 až 1,7 m, délky cca 100 m – dále jen dl., DN 200 mm), do něhož jsou zaústěny jednak odpady původních i nově vybudovaných drenážních studen a také odvodnění kamenné rovnaniny v patě hráze. V pravobřežní části (méně rozsáhlé) části nivy se pak nachází drén D4 vedený rovnoběžně za vývarovou zdí (dl. cca 25 m) a drén D4A vedený podél přístupové komunikace od paty pravého svahu k vývaru (dl. cca 40 m) [12].

V podhráží pak obecně existuje nebezpečí, že by mohlo dojít vzhledem ke zvýšenému namáhání pokryvné hlinité vrstvy hydrodynamickým tlakem proudící vody v podložních štěrcích a k prolomení uvedené hlinité vrstvy, k následnému intenzivnímu vyplavování materiálu v podloží i tělese hráze a konečně k vytvoření poruchy hráze VD.

Z tohoto důvodu a také s ohledem na stáří, funkci a technický stav původního drenážního systému VD na levém břehu koryta bylo přistoupeno v nedávné době k obnově drenážního systému. Tato byla provedena ve třech etapách (06/1999-10/1999, 11/2000-01/2001 a 09/2001) a spočívala ve:

- výměně (po částech) potrubí hlavního svodného drénu D3 prakticky v celé jeho délce,

- vybudování nových revizních šachet RŠ3, RŠ5, MRŠ1 (současně i měrná š.) na drénu D3,
- vybudování pěti nových vertikálních drenážních studní St12, St14, St15, St16, St17 a šikmého vrtu St18 pod patu pravého údolního svahu (horizontální odpadní potrubí nových studní bylo zaústěno do původních revizních šachet RŠ2, RŠ4, RŠ6, RŠ7 na drénu D3).

7.5 Popis jednotlivých částí

7.5.1 Vzduovací objekt (hráz)

Vzduovací objekt tvoří přímá zemní sypaná hráz (geodetické zaměření 03/2008: kóta koruny vlnolamu 309,20 – 309,26 m n. m, kóta koruny hráze v ose 308,10 – 308,14 m n.m. kóta dna údolí ve vzdušní patě hráze 289,82 – 290,28 m n.m.). Těsnící jádro je střední z jílovitého materiálu. Stabilizační části hráze navazující na oba líce jílovitého jádra je nasypána z válcovaného šterkovitého jílu. Paty návodního a vzdušného svahu jsou tvořeny dusanými pískovcovými balvany. Přechodové vrstvy jsou provedeny z písku jako dvojité obrácené filtry. Návodní svah je opevněn dlažbou z lomového kamene na sucho. Vzdušný svah je ohumusován a oset. Podloží hráze je tvořeno údolními šterky, z nichž před stavbou byly sejmuty pokravné náplavové hlíny. Skalní podloží potom tvoří pískovce, tmavošedé jílovce a slepence - vše s četnými zlomovými liniemi. Zavázání vlastního násypu hráze do skalního podloží je provedeno přes revizně - injekční chodbu (situovanou v podložních štercích a částečně do skalního podloží), resp. přes injekční bloček (část levého i pravého údolního svahu). Skalní podloží hráze je potom těsněno injekční clonou, a to buď z podlahy chodby, nebo z betonového bločku (část levého a pravého údolního svahu), resp. přímo z terénu (levobřežního a pravobřežního zavázání).

7.5.2 Spodní výpust

Výpust je z hydraulického hlediska tvořena tlakovým krátkým ocelovým potrubím DN 800 až 1200 se dvěma uzávěry ústícím do odpadní chodby o volné hladině DN 1750 . Ocelové potrubí DN 800 vyúsťuje do chodby DN 1750 z železobetonových trub Vianiny. Výtok na vzdušné straně chodby je chráněn mříží proti vstupu. Tuto mříž zvedá hrázný při odtoku nad 1 m³/s [4]. Kapacita spodní výpusti po osazení atypického kuželového uzávěru v r. 2008 při max. zásobní hladině 306,20 m n. m. činí cca 4,5 m³/s (dle ověřovacího měření).

7.5.3 Odkalovací potrubí ve výpustné věži

Odkalovací potrubí DN 200 ze šachty předsazené na odběrné věži vyústí do potrubí DN 1750 a slouží k vypouštění asanačního průtoku do koryta toku pod přehradou. Uzávěr (šoupě) je ovládán ručně ze strojovny v odběrné věži. Kapacita odkalovacího potrubí je cca $0,250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

7.5.4 Odběrná, výpustná věž

Odběrné zařízení přehrady tvoří odběrná věž, k níž vedou ve společném bloku dvě chodby, jedna jako odpadní chodba (navazující na spodní výpust nádrže), druhá jako komunikační chodba (sloužící pro přístup do věže). Odběrná věž má celkovou výšku 28,10 m. Má kruhový profil se segmentovým předsazením pro umístění sacích košů vodovodního potrubí (1. až 3. etážový odběr). Průměr věže je 3,40 m. Horní část věže nad maximální hladinou je rozšířena na světlý průměr 5,20 m, výška je 2,90 m až 3,45 m. Pro výstup do odběrné věže slouží železné točivé schody 0,90 m široké. V místě odběru surové vody mají vždy podestu.

7.5.5 Vodárenské odběry

Odběry pro vodovod jsou čtyři. Tři jsou uspořádány etážovitě v šachtě předsazené na odběrné věži v úrovni 303,45 m n. m., 299,55 m n.m. a 295,65 m n.m. Čtvrtý, nejnižší odběr je z boku věže, původně byl jeho vtok na kótě 291,75 m n. m., v roce 1982 byl upraven vtok na kótu 292,60 m n. m. Voda je odebírána sacími koši, chráněnými česlemi. Potrubími DN 350 je odváděna komunikační chodbou v přehradě a vyvedeno na vzdušnou stranu hráze do úpravny vody.

7.5.6 Odběr pro rybochovné hospodářství

Před indukčním průtokoměrem v komunikační chodbě je na vodárenské potrubí napojeno potrubí DN 150, které zásobuje 6 plůdkových rybníků pod hrází.

7.5.7 Komunikační a odpadní chodba

Umožňuje přístup do odběrné věže ze vzdušné strany hráze a do revizní - injekční chodby. V komunikační chodbě je uloženo i vodárenské potrubí. Stavebně tvoří komunikační chodba jeden blok s výpustným potrubím DN 1750 z trub Vianini, s nímž má společnou podélnou osu a společný spád 7 ‰ směrem ke vzdušné straně hráze. Zastropení chodby je vytvořeno kruhovou klenbou, tloušťka stěn kolísá mezi 0,60 – 0,70 m.

7.5.8 Revizní a injekční chodba

Profil je tunelovitého tvaru, světlé šířky 2,75 m, výšky 3,00 m. Po obou stranách je ve dně opatřená odvodňovacími žlábkami 0,20 x 0,20 m. Chodba je umístěna v betonovém bloku 6,00 x 6,20 m mezi larsenovými stěnami v nejnižším místě hráze. Revizní chodbu nelze gravitačně odvodnit. Prosáklou vodu je nutno čerpat.

7.5.9 Bezpečnostní přeliv

Jedná se o boční nehrazený, v půdoryse zakřivený přeliv umístěný při pravobřežním zavázání hráze. Délka přelivné hrany je 25,70 m a kóta přelivné hrany 306,60 m n.m. Kapacita přelivu při max. hladině 307,20 m n.m. je cca $26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při dosažení hladiny 307,30 m n.m. již dochází k počátku zatápění přelivu.

7.5.10 Skluz

Přepadající vody jsou ze spadiště přelivu odváděny skluzem vybudovaným převážně v rostlém terénu v délce 61,75 m do vývaru. Šířka dna skluzu je 3 m, boční stěny mají sklon 5:1. Dno i stěny skluzu jsou z kamene osazeny do betonu síla stěn 0,8 – 1,5 m.

7.5.11 Vývar

Vývar je společný pro bezpečnostní přeliv i spodní výpust'. Je mírně odsunut od vzdušní paty hráze. Délka vývaru je 23,5 m, převládající šířka 5,0 m. Celková hloubka vývaru je 2,5 m, přičemž vývar je ve dně zakončen stupňovitě. Dno vývaru je zpevněno dlažbou do betonu. Do vývaru je zaústěno i odpadní koryto od spodní výpusti.

7.5.12 Regulace pod hrází

Odpadní koryto za železobetonovou lávkou pod vývarem je lichoběžníkového profilu o průměrném spádu 5 ‰. Svahy jsou ve sklonu 1 : 2 a jsou zpevněny dlažbou z lomového kamene tloušťky 0,25 m, do pískového lože tloušťky 0,08 m. Svahy koryta nad dlažbou jsou zatravněny.

7.6 Seznam jednotlivých oprav

Účelem rekonstrukce VD Koryčany je zvýšení kapacity vodního díla pro přechod kontrolní povodňové vlny KPV_{10 000}. Návrh řešení spočívá ve vybudování nové 2. spodní výpusti, v rekonstrukci koruny hráze, zvýšení průtočné kapacity bezpečnostního přelivu a skluzu, úpravě vývaru a odpadního koryta a obnově injekční clony vodního díla.

7.6.1 Koruna hráze

Po odbourání asfaltu bude koruna hráze upravená do sklonu 2,5 % a kóta v ose bude po celé délce 307,85 m n. m. Ve vzdálenosti 1,0 m od osy koruny hráze je navržena osa jílocementové zálivky. Vrch zálivky je navržen na kótě 307,45 m n. m. Za účelem realizace zálivky bude vytvořena rýha podél vlnolamu ve sklonu 2,5 % směrem k vzdušnému líci přehrady. Šířka rýhy bude vzhledem k nerovnosti vlnolamu proměnlivá. Po realizaci zálivky a osazení těsnicí folie do jejího středu, bude rýha zasypána tříděným hlinitým materiálem tloušťky 0,425 m a zhutněna na hodnotu $E_{def,2} \geq 50$ MPa.

Samotná těsnicí jílocementová zálivka bude budována jako těsnicí stěna pomocí drapákového rypadla. Po vyhloubení části výkopu bude zalita jílocementovou suspenzí. Hloubka těsnicí stěny bude 2,35 m. Minimální zapuštění do homogenního těsnícího jádra je 0,60 m, tj. kóta 305,10 m n. m.

Kontinuálně bude do středu prováděné zálivky osazována těsnicí folie (např. typu Fatrafol 803) tl. 2,0 mm obalena oboustranně do geotextilie (např. Geofiltex 63/60 F). Těsnicí folie bude do zálivky zapuštěná do hloubky 0,85 m (Obr. 10). Na této délce nebude folie obalena geotextilií, aby byla zálivka pevně propojena s folií. Následně bude vytažena na kótu 307,45 m n. m. a 2 krát zahnuta o 90° a bude stabilizována zásypem z tříděného hlinitého materiálu. V detailu bude folie vložena mezi dvě gumová těsnění rozměrů 100 x 6 mm. Toto těsnění bude přitlačeno přes nerezovou pásovou ocel 80 x 6 k vlnolamu.



Obrázek 10 osazení plastové fólie (foto autora)

7.6.2 Bezpečnostní přeliv, skluz, vývar, mostní objekty

V důsledku budování nových objektů se stávající objekty zbourají. Původní stavební materiál je kamen osazený do betonu (kamenobeton) v nevyhovujícím stavu. Nové objekty budou ze železobetonu, například skluz bude z původní šířky 3 m rozšířen na 9 m u přelivu a plynule se zúží na 6 m u vývaru. Taktéž ostatní objekty budou nahrazeny železobetonem. Rekonstrukcí těchto objektů se bakalářská práce nezabývá. Taky se dále nebudu věnovat rekonstrukcí lesní komunikace, opravě veřejného osvětlení, kamerovému systému, přeložkám vodárenského a rybiho potrubí.



Obrázek 11 Bezpečnostní přeliv před rekonstrukcí (foto autora)



Obrázek 12 Bezpečnostní přeliv po dokončení bet. konstrukcí (foto autora)

7.6.3 Injekční clona

Realizuje se obnovení stávající injekční clony. K obnově se přistoupilo na základě zvýšeného průsaku přímo přes určité netěsnosti stávající clony, resp. intenzivního podtékání stávající clony ve význačných tektonických poruchách a také z důvodu navrhovaných stavebních prací na rekonstrukci skluzu a bezpečnostního přelivu v pravobřežním závázání hráze.

Navržené řešení sestává ze zajišťovací injektáže 1. a 2. pořadí (prováděna nejprve) a z vlastní injekční clony. Návrh byl proveden racionálně s ohledem jak na technickou stránku věci, tak i na možné finanční náklady. V průběhu injekčních prací pak na základě rozboru konkrétního geologického sledu a zejména vodních tlakových zkoušek při provádění injekčních vrtů 1. a 2. pořadí může být upuštěno od provádění všech vrtů 3. pořadí (resp. části vrtů 2. pořadí).

STÁVAJÍCÍ STAV

Úvodem jsou shrnuty proběhlé sanační práce na injektážích před rekonstrukcí [10].

I. ETAPA INJEKTÁŽE (1955 - 1958)

- vrty v údolí (z injekční chodby) dl.: 30 - 35 m a vrty ve svazích (z injekční chodby – z injekčního bločku - z terénu) dl. 20 - 25 - 30 m,
- jednořadá injekční clona (1. pořadí: po 8 m, 2. pořadí: po 4 m, 3. pořadí: po 4 m, 4. pořadí: po 1 m),
- injektáž cementovým mlékem a chemická injektáž na bázi vodního skla (receptura: prof. Bárta).

II. ETAPA INJEKTÁŽE (1959 - 1961) - 1. část

- vrty v údolí (z injekční chodby) dl.: 30 - 35 m,
- jednořadá injekční clona (1. pořadí: po 4 m, 2. pořadí: po 2 m, 3. pořadí: po 1 m),
- injektáž cementovou směsí.

II. ETAPA INJEKTÁŽE (1959 - 1961) - 2.část

- vrty v pravém svahu vedené z koruny hráze, resp. přímo z terénu dl. 50 - 55 m,
- jednořadá injekční clona (1. pořadí: po 4 m, 2. pořadí: po 2 m, 3. pořadí: po 1 m),
- injektáž cementovou směsí.

III. ETAPA INJEKTÁŽE (1987 - 1988)

- vrty z koruny hráze v levobřežním zavázání dl.: ~15,0 m,
- třířadá injekční clona (49 vrtů, vzdál.: ~1,25 m v každé ze tří řad),
- injektáž jílocementovou směsí.

Pro snížení tlaku vody při vrtání se hladina v nádrži sníží na potřebné minimum. Podle analýzy proběhlé v období 09/2004 - 12/2008 lze odhadnout snížení tlaku o 20 až 40 % z původních hodnot při provozní hladině [4].

Vrty zajišťovací injektáže

Provedly se jako první. Jednalo se vždy o dvojici vrtů odkloněných 25° od osy hráze na návodní a na vzdušnou stranu. Byly vrtány z podlahy injekční chodby při její stěně a ještě budou doplněny o vrty ze dna skluzu a spadiště. Navrhovaný průměr vrtů je 93 mm. Délka vrtů bude cca 4 - 6 m s tím, že by měly sahat cca 2,5 m pod základovou spáru.

Vrty vlastní injekční clony

Provádí se s určitým odstupem po vrtech zajišťovací injektáže (ale před pozorovacími, tlakoměrnými vrty). Jedná se vždy ve valné většině o svislé vrty (97 ks), pouze menší část je šikmých (23 ks - z toho 11 ks do 45° od vertikály a 12 ks nad 45° od vertikály). Všechny vrty budou provedeny v rovině podélné osy hráze – navrhovaná injekční clona je jednořadá. Většina vrtů je prováděna z betonového dna injekční chodby (87 ks), část z betonového čela ukončení injekční chodby v levém svahu (15 ks), část z pravobřežní stěny komunikační chodby a z jejího dna (4 ks) část z navrhovaného dna skluzu a spadiště (22 ks) a část z terénu v pravobřežním zavázání (12 ks). Navrhovaný průměr vrtů je 93 mm. Délka vrtů je cca 20 - 39 m (průměrně 31,1 m, ovšem běžný vrt je délky 30 m). Povolena max. odchylka od navrhovaných odklonů všech vrtů je předepsána hodnotou 3°.

Všechny vrty se provádí sestupně po etážích dlouhých 3,2 m - tj. injektáž je tedy prováděna odshora dolů. Praktické provádění je takové, že se provrtá nejprve betonové dno chodby délky průměrně 2,5 m, následně se vyvrtá 1. etáž ve skalním podloží dlouhá cca 3,2 m, provedou se vodní tlakové zkoušky (dále jen VTZ) a následně i vlastní injektáž skalního podloží vč. vlastního vrtu (Obr. 14). Pro sledování tlaku ve vrtu se osadí mechanický pakr s manometrem (Obr. 13). Po zatvrdnutí injektážní směsi se s určitým časovým odstupem provede převrtání 1. etáže vrtu (tj. vlastního vrtu) (Obr. 15) a vyvrtá se ve skalním podloží 2. etáž vrtu - opět se provedou VTZ a následně i injektáž. Postup se poté opakuje až po závěrečnou etáž, přičemž u běžného (nejčastějšího) vrtu je počet etáží 9.



Obrázek 13 Mechanický pakr s manometrem (foto autora)

Při provádění vrtů probíhají vodní tlakové zkoušky po délkách 3,2 m. Průběh vodních tlakových zkoušek se uspořádal tak, abychom dostali průběh spotřeby vody v závislosti na tlaku. Proto se vodní tlakové zkoušky prováděny tak, aby v každém úseku vrtu byla ztráta vody zjišťována při tlacích postupně zvyšovaných a snižovaných až na počáteční hodnotu. Konkrétně je navrženo, aby každá etáž byla zkoušena při tlaku 0,1, 0,2, 0,1, 0,2 a 0,1 MPa. Při jednotlivých tlakových stupních bude ztráta vody měřena 10 minut, a to od ustálení spotřeby vody, která je v první minutě největší a postupně se zmenšuje (ustálení, i když ne úplné, nastává cca v 5. minutě zkoušky). Mezi jednotlivými tlakovými stupni se přetlak sníží na nulu po dobu 5 minut, aby podmínky v puklinách byly před každým tlakovým stupněm stejné. Dobu 5 minut lze pokládat za dostatečnou k vyrovnání poměrů v puklinách. Výsledky tlakových zkoušek se graficky zpracovávají (závislost ztráty vody v $\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ na tlaku v MPa).



Obrázek 14 Michací centrum (foto autora)



Obrázek 15 vrtná souprava (foto autora)

Vrty mají za účel provést obnovu vlastní injekční clony v podélné ose hráze z hlediska indikovaných stávajících netěsností skalního podloží hrázového profilu, resp. preventivní přetěsnění skalního podloží v oblasti výstavby nového skluzu a bezpečnostního přelivu a vpravo od něj. Z hlediska v současnosti zjištěných netěsností se jedná zejména o údolní část při patě pravého svahu (indikován zvýšený průsak přímo přes stávající injekční clonu) a dále pak patu levého svahu na význačné tektonické poruše (intenzivní podtékání stávající clony o nedostatečné výšce). Vysoká úroveň tlaků vody ve skalním podloží pod vzdušní polovinou hráze vlivem zvýšeného proudění vody přes clonu, resp. jejím intenzivním podtékáním, je totiž obecně nepříznivý jev, který může vést až ke ztrátě stability vzdušného líce, resp. i ke ztrátě filtrační stability v podloží hráze.

První řada vrtů vlastní injektážní clony tedy po 4 m vzdálených od sebe se vrtá jádrovým vrtákem s odběrem vzorků (Obr. 16, 17). Tyto vzorky se uloží do dřevěných beden a následně se analyzují. Tím se získá profil hráze s evidencí defektů v podloží.



Obrázek 16 Vzorky podloží z vrtu 72A (foto autora)



Obrázek 17 Vrtná hlava vlevo na jádro
vpravo plnoprofilová (foto autora)

Injektáž se provádí stabilizovanou jílocementovou směsí (dle ČSN EN 12715) s předběžně určeným poměrem cementu a jílu 5:1.

7.6.4 Spodní výust' č. 2

V první fázi, kdy se provedla revize stávajícího klínového šoupěte DN800 a jeho montáž jako i navrhovaného nožového šoupěte DN 800, se 1. spodní výpust DN800 zcela vyřadila z provozu. Po tuto dobu se využilo pro zajištění trvalého průtoku pod VD stávající potrubí DN200 k tomuto účelu určené. Nutné je také zahrazení vtoku stavítkem – návodní tabulí. Po provedení těchto prací a funkčních zkoušek se tato 1. spodní výpust neprodleně uvedla zpět do provozu tak, aby vodní dílo bylo bez funkční spodní výpusti po co nejkratší dobu.

Ve druhé fázi, se provedla instalace 2. spodní výpusti DN600. V předstihu se však provedla montáž nátokového zvonu na vnější líc odběrné věže (Obr. 19). Sloužil jako návodní revizní uzávěr umožňující montáž 2. spodní výusti při provozní hladině v nádrži (Obr. 18).



Obrázek 18 nově osazená potrubí v obslužné věži
(foto autora)



Obrázek 19 potápěčské práce při osazení nátokového zvonu
(foto autora)

7.6.5 Automatický monitoring

Jedná se o zařízení pro měření deformací na hrázi a v hrázových chodbách. Před rekonstrukcí se nacházely vrty pro měření otevřené (s volnou hladinou) a uzavřené (tlakové). Odečítání probíhalo u otevřených ručně pomocí hladinoměru a ručně i automaticky u uzavřených vrtů (Obr. 20). Nově osazené přístroje pro automatický přenos dat budou s automatickým odečtem strunové (Obr. 21). Při realizaci je důležité se řídit pokyny pro osazení měřidel (někdy před realizací opravy) pro sledování deformací a tlaků. Dále jsou specifikována měřicí zařízení, která budou při rekonstrukci zrušena.

Výčet nově budovaných objektů a stavebních úprav:

- kontrolní bod (výškový a směrový),
- sdružená šachta 9 ks,
- vztažný bod výškový 5 ks,
- úprava zhlaví na stávajícím observačním pilíři 4 ks,
- kontrolní bod (výškový) 5 ks,
- deformetrické základny 3 ks,
- pozorovací vrty,
- Parshallovy žlaby,

- tlakoměrné vrty,
- navýšení vrtů a studní.



Obrázek 20 Původní tlakoměrné vrty s manometrem
(foto autora)



Obrázek 21 Vrt osazený automatickým snímačem +
manometr (foto autora)

8 ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce se zabývá nejčastějšími poruchami sypaných zemních hrází, které se v minulosti objevovaly v praxi, a jejich sanacemi. Z výzkumu a statistických dat lze usuzovat, že nejčastějšími poruchami jsou vnitřní eroze vznikající mnohdy nedodržením technologického postupu výstavby hráze a povrchová eroze, která je nejčastěji způsobena přelitím hráze při povodňových průtocích, kdy velkou roli sehrávají špatně dimenzované bezpečnostní prvky hrází (bezpečnostní přelivy apod.). Tyto poruchy lze nalézt nejen u velkých přehrad, ale i u menších malých vodních nádrží a protipovodňových hrází.

V druhé části práce byla zpracována příkladová studie rekonstrukce přehrady VD Koryčany, zahrnující přehled její výstavby a proběhlé sanace za dobu životnosti stavby. Na tyto poznatky navázal projekt rekonstrukce a následná realizace, která probíhá od roku 2017. Veškeré odkryvné práce, které odhalily základovou spáru objektů, byly pro mě velkou výzvou. V rámci výstavby se posuzovala stabilita svahů přecházejících ze skalních do soudržných zemin. Při kotvení pilot vytékající pozemní voda neumožnila aplikaci cementové injektáže a polovina kotev, byla injektována polyuretanovou směsí s rychlým náběhem pevnosti. Účast u realizace injektážní clony v komunikační chodbě se ukázaly jako velmi

poučné. V praxi používané slovní spojení „uvidíme, až to vyvrtáme“ je u injektáží pravdivé. Ukázaly se značné rozdíly ve spotřebě jílocementové směsi. Spotřeba injektážní směsi se značně lišila a reagovala na rozpukanost podloží. Nejmenší spotřeby jílocementové směsi se pohybovaly 300 až 500 litrů na celý vrt, na druhé straně byly vrty, které pojaly 2500 litrů injektážní směsi i více. Díky rozborům první řady vrtů a vodní tlakové zkoušce se upřesnily geologické poměry a režim pórových tlaků pod tělesem hráze. Byly určeny místa s nejvyšším přítokem podzemní vody. Na to se reagovalo doplněním v těchto místech 3. řadou injektáží. V konečné fázi byly vrty v těchto místech 1 m od sebe s hloubkou 30 m. Kontrolní vrty po realizaci injektážích vrtů odhalily úspěšnost injektáže. Bylo sledováno značné snížení objemu vytékající podzemní vody z vrtu v porovnání s první VTZ.

9 Použitá literatura

[1] ŠVIHÁLEK, Milan. Stavitel přehrad: putování legendárního moravského vodohospodáře Jana Čermáka 20. stoletím. Praha: Grada Publishing, 2013. TĚN: technická elita národa. ISBN 978-80-247-4465-0.

[2] Nurecká přehrada, země Tádžikistán [online]. [cit. 2019-01-10] https://cs.dbpedia.org/page/Nureck%C3%A1_p%C5%99ehradn%C3%AD_n%C3%A1dr%C5%BE

[3] Vodní dílo Nechranice [online]. [cit. 2019-03-10] <http://www.poh.cz/vodni-dilo-nechranice/d-2598>

[4] ŘÍHA, Jaromír. Ochranné hráze na vodních tocích. Vyd. 1. Praha: Grada, 2010, 223 s. ISBN 978-80-247-3570-2

[5] Historické konstrukce hrází rybníků [online]. [cit. 2019-04-20]. <http://eakvakultura.blogspot.com/2015/04/historicke-konstrukce-hrazi-rybniku.html>

[6] BROŽA, Vojtěch a Ladislav Satrapa. Navrhování přehrad. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000 dotisk. ISBN 80-01-01424-X.

[7] ŘÍHA, Jaromír. Úvod do rizikové analýzy přehrad. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-608-9.

[8] PASEKA, Antonín. Svahové pohyby. Brno: Litera Brno, 2014. ISBN 978-80-905768-1-0

[9] Geomat s.r.o. Protierozní ochrana [online]. [cit. 2019-04-20] <https://www.geomat.cz/multicell-mc/>

[10] Holomek Petr, aktualizace Jiří Petr, Program TBD při změně stavby a ověřovacím provozu VD Koryčany, (Únor 2016, nepublikovaná zpráva. Archiv Povodí Moravy)

[11] LUKÁČ, Michal. Navrhovanie a prevádzka vodných stavieb: sypané priehrady a hrádze. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-8076-031-4.

[12] Kedrovič Miloš, VODOTIKA a.s. VD Koryčany – Rekonstrukce VD Projektová dokumentace. Nepublikováno, archiv Povodí Moravy (vydáno únor 2016)